

**Ministère des Ressources naturelles du Québec**  
**Programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier**

Projet soumis au volet 1

**TITRE:        IMPORTANCE DU SYSTÈME RACINAIRE ADVENTIF  
                 CHEZ LES SEMIS D'ÉPINETTE NOIRE:  
                 RAPPORT FINAL POUR LA PÉRIODE 1995-97.**

**Promoteur:**        Barette-Chapais Ltée  
                 a/s M. Michel Deshaies  
                 C.P. 248  
                 Chapais, Qué. G0W 1H0  
                 Tél.    418-745-2545  
                 Téléc. 418-745-3079

**Collaborateurs:**   Daniel Lord, professeur  
                 Université du Québec à Chicoutimi  
                 Département des Sciences fondamentales  
                 555, boul. Université  
                 Chicoutimi, Qué. G7H 2B1  
                 Tél.    418-545-5011 poste 5064  
                 Téléc. 418-545-5012

                 Yvon Bouchard, chef  
                 Benjamin Martin, ing. for.  
                 Unité de gestion de Chibougamau  
                 Ministère des Ressources naturelles  
                 624, 3e rue  
                 Chibougamau, Qué. G8P 1P1  
                 Tél.    418-748-2647  
                 Téléc. 418-748-3359

**30 JUIN 1997**

## INTRODUCTION

L'épinette noire est la principale espèce commerciale de la forêt boréale du Québec. Abondamment utilisée par l'industrie forestière, elle a fait l'objet de plusieurs études afin de mieux connaître son comportement après perturbation naturelle ou anthropique. Si on connaît bien les mécanismes de régénération qui caractérisent cette espèce, plusieurs questions concernant le développement de son système racinaire restent à répondre.

Le système racinaire de l'épinette noire adulte est fait de racines latérales de surface distribuées radialement (Strong et La Roi 1983). La plupart des racines sont situées dans les 7 à 10 premiers cm de sol, la pénétration maximale ne dépassant pas 30 cm. La distribution en surface des racines d'épinette noire se vérifie aussi dans le cas de plants provenant d'une plantation. Le maximum de racines se retrouve dans les premiers cm de sol, puis décroît rapidement en profondeur (Armson 1972). À l'âge adulte, ces racines ont toutes les chances d'être des racines adventives, surtout si le plant s'est développé dans un milieu où la matière organique montre une certaine épaisseur, car il est connu depuis longtemps que l'épinette noire est une espèce qui favorise le développement d'un système racinaire adventif dominant, ce système pouvant même prendre préséance sur le système racinaire initial issu de la graine (e.g. Lebarron 1945). Par exemple, les travaux en écologie de l'équipe de l'UQAC démontrent hors de tout doute que le système racinaire des épinettes noires adultes vivant en forêt boréale commerciale s'est développé en totalité à partir de racines adventives initiées dans la tige de l'arbre, le système racinaire primaire issu de la germination de la graine et se retrouvant sous le collet ayant à toute fin pratique disparu (Lussier *et al.* 1994).

Ces observations ne semblent pas avoir été prises en compte dans la plupart des actions liées à l'aménagement forestier. En fait, il ne semble pas se faire de distinction formelle entre système racinaire initial et système racinaire adventif caulinaire. Par exemple, les systèmes de production de plants en récipients utilisés pour le reboisement au Québec ne favorise pas le développement avant plantation d'un système racinaire adventif caulinaire. Pas plus que la façon de les planter! McLain (1982) et Sutton (1995) suggèrent que cette caractéristique de l'épinette noire à former un système racinaire adventif devrait être favorisée lors de la plantation pour que le développement de l'arbre en bénéficie. Favoriser cette même caractéristique en période de production pourrait aussi augmenter le taux de survie des semis après reboisement et accélérer la reprise de croissance. Ces différentes hypothèses n'ont pas encore été vérifiées à notre connaissance.

Qu'en est-il réellement pour l'épinette noire, la principale espèce plantée au Québec? La présence préalable d'un ensemble de racines adventives est-il un facteur positif à court et à long terme? Les racines adventives qui pourraient éventuellement se développer en culture avant plantation seront-elles toujours présentes lorsque l'arbre sera adulte? Si non, aident-elles les semis plantés à survivre au choc de transplantation et à redémarrer rapidement la croissance végétative dans les années suivant la mise en terre, favorisant ainsi le semis dans sa lutte contre la végétation compétitive? L'objectif général du programme de recherche vise à étudier le développement du système racinaire adventif permanent chez l'épinette noire. Dans le cadre du projet spécifique discuté dans ce rapport, les objectifs suivants sont visés:

- 1- Déterminer si un semis en première année de croissance peut développer des racines adventives sur sa tige.
- 2- Évaluer le potentiel de développement du système racinaire adventif chez des semis plantés à différentes époques de l'année et évaluer les effets de la présence à priori ou à posteriori de ce système sur la survie et la reprise de croissance de ces mêmes semis.

## RAPPORT CONCERNANT L'OBJECTIF 1:

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

Deux provenances d'épinette noire (*Picea mariana* [Mill.] B.S.P.) ont été utilisées dans cette expérience. Les graines ont été fournies par le Centre de traitement des semences de Berthier (Tableau 1). Les deux lots provenaient de la région 02 (Saguenay-Lac-St-Jean) et les graines ont été récoltées dans la zone écologique boréale, soit la région écologique 12B d'après le classement de Thibault (1987).

Tableau 1. Caractéristiques des lots de graines fournis par le Centre de traitement des semences de Berthier.

No.	Provenance	Zone et région écologiques	Latitude	Longitude	Année de récolte
Prov. 1	EPN-N1-12B-Y45-02486	Boréale (12B)	49°35'	71°30'	1986
Prov. 2	82L63	Boréale (12B)	49°15'	73°30'	1982

Les graines ont été semées dans des récipients IPL67-50 le 19 janvier 1996 remplis de tourbe et recouvertes de silice. Les récipients ont été placés dans une serre en verre à l'Université du Québec à Chicoutimi. La température était maintenue à 28° C durant la première semaine pour hâter la germination. Par la suite, la température a été abaissée à 20°C le jour et 15°C la nuit. Un éclairage d'appoint était fourni par des lampes à vapeur de sodium haute pression pendant 16 heures. Les plants étaient arrosés au besoin et fertilisés une fois par semaine selon la méthode standard de production en récipients.

La formation de racines adventives a été induite en enfouissant la tige des semis de 5 cm dans la tourbe lors de leur transplantation dans des récipients 15-700. Cinq dates d'enfouissement ont été étudiées soit 8, 10, 12, 14 et 16 semaines après le semis. Deux stades phénologiques ont aussi été étudiés en combinaison avec les dates d'enfouissement, soit les périodes de croissance en hauteur de la tige et de dormance. Les plants ont été divisés en deux groupes, un des groupes étant cultivé dans les mêmes conditions de croissance qu'auparavant (croissance en hauteur de la tige) et le second étant cultivé pendant deux semaines sous une courte photopériode (8 heures) pour induire la dormance. Après cette période, les plants en dormance ont été transférés dans la même serre que le groupe en croissance en hauteur de la tige.

À la mi-juillet, soit 24 semaines après le semis, 10 plants par combinaison de traitement ont été échantillonnés (mesure 1). La hauteur, le diamètre au collet et le nombre de racines adventives ont été mesurés. Les plants ont été séchés à l'étuve pendant 48 heures et la tige, les racines primaires et les racines adventives ont été pesées au mg près.

Les plants ont été transférés à l'extérieur de la serre pour le reste de la saison de croissance et 10 autres plants par combinaison de facteurs ont été échantillonnés à la fin de la première année, soit le 18 novembre 1996 (mesure 2). Les plants ont hiverné dans une serre froide (5°C) pour ensuite être transférés le 9 décembre 1996 dans une serre sous un régime de température-lumière de 20°C/15°C, 16 h jour / 8 h nuit. Un traitement de dormance (photopériode de 8 heures) a été appliqué le 22 janvier 1997 pendant deux semaines. Un dernier échantillonnage de 10 plants par combinaison de facteurs a été effectué le 3 avril 1997 (mesure 3).

## RÉSULTATS ET DISCUSSION

Après 24 semaines de croissance (mesure 1), à peine 5,5 % des plants ont produit des racines adventives (figure 1). Ce pourcentage augmente à 27,5 % à la fin de la première année de croissance (mesure 2). La majorité des plants (65 %) avait cependant développé des racines adventives à la fin la deuxième année de croissance (mesure 3) et leur nombre variait de un à huit par plant. La provenance et le traitement de dormance au moment de l'enfouissement n'ont pas eu d'effet significatif sur la production de racines adventives. Par contre, la date d'enfouissement a eu un effet significatif ( $P = 0.04$ ) jusqu'à la fin de la deuxième année de croissance (mesure 3). Le pourcentage de plants produisant des racines adventives et le nombre de racines adventives étaient plus élevés lorsque la tige était enfouie plus de 8 semaines après le semis. Il semble donc préférable d'attendre que le semis ait atteint une certaine hauteur avant de l'enfouir pour permettre l'expression du potentiel de formation du système racinaire adventif caulinaire.

L'enfouissement d'une portion de la tige est susceptible de réduire la croissance des semis puisque ceux-ci perdent une partie de leur surface photosynthétique (Aubin 1996). Il existe effectivement des différences significatives dans la morphologie de la tige après 24 semaines de croissance (mesure 1) puisque l'interaction  $P*S*D$  est significative à  $P < 0.001$  pour la longueur de la tige (tableau 2). La taille des plants diminue linéairement en fonction de la date d'enfouissement. Cependant, la hauteur des plants n'est plus significativement différentes entre les divers facteurs à partir de la deuxième mesure soit après une seule année complète de croissance (tableau 2). D'autre part, la date d'enfouissement a un effet significatif sur le diamètre au collet même après deux années de croissance (mesure 3, tableau 2). Ce résultat était attendu puisque la croissance en diamètre de la portion de tige enfouie se réduit considérablement après l'enfouissement (Villeneuve 1997).

Le stade phénologique, la date d'enfouissement et l'interaction entre la provenance, le stade phénologique et la date d'enfouissement ( $P*S*D$ ) ont des effets significatifs à  $P < 0.001$  sur la biomasse de la tige et des racines primaires 24 semaines après le semis (mesure 1, tableau 3). La biomasse diminue légèrement en fonction de la date d'enfouissement et les plants qui ont été mis en dormance immédiatement après l'enfouissement ont une biomasse moins importante (figure 2). Cependant, les écarts s'amenuisent après cette date et seule la date d'enfouissement a un effet significatif sur la biomasse de la tige et des racines primaires après deux années de croissance (tableau 3). Les plants enfouis à la 8e semaine ont des biomasses aérienne et racinaire plus élevées que ceux enfouis après cette date et la biomasse racinaire est plus faible lors de la deuxième année de croissance chez les plants mis en dormance (figure 2). Les facteurs étudiés n'ont pas eu d'effet significatif sur la biomasse des racines adventives (tableau 3). La biomasse des racines adventives était de 0,225 g en moyenne après deux années de croissance.

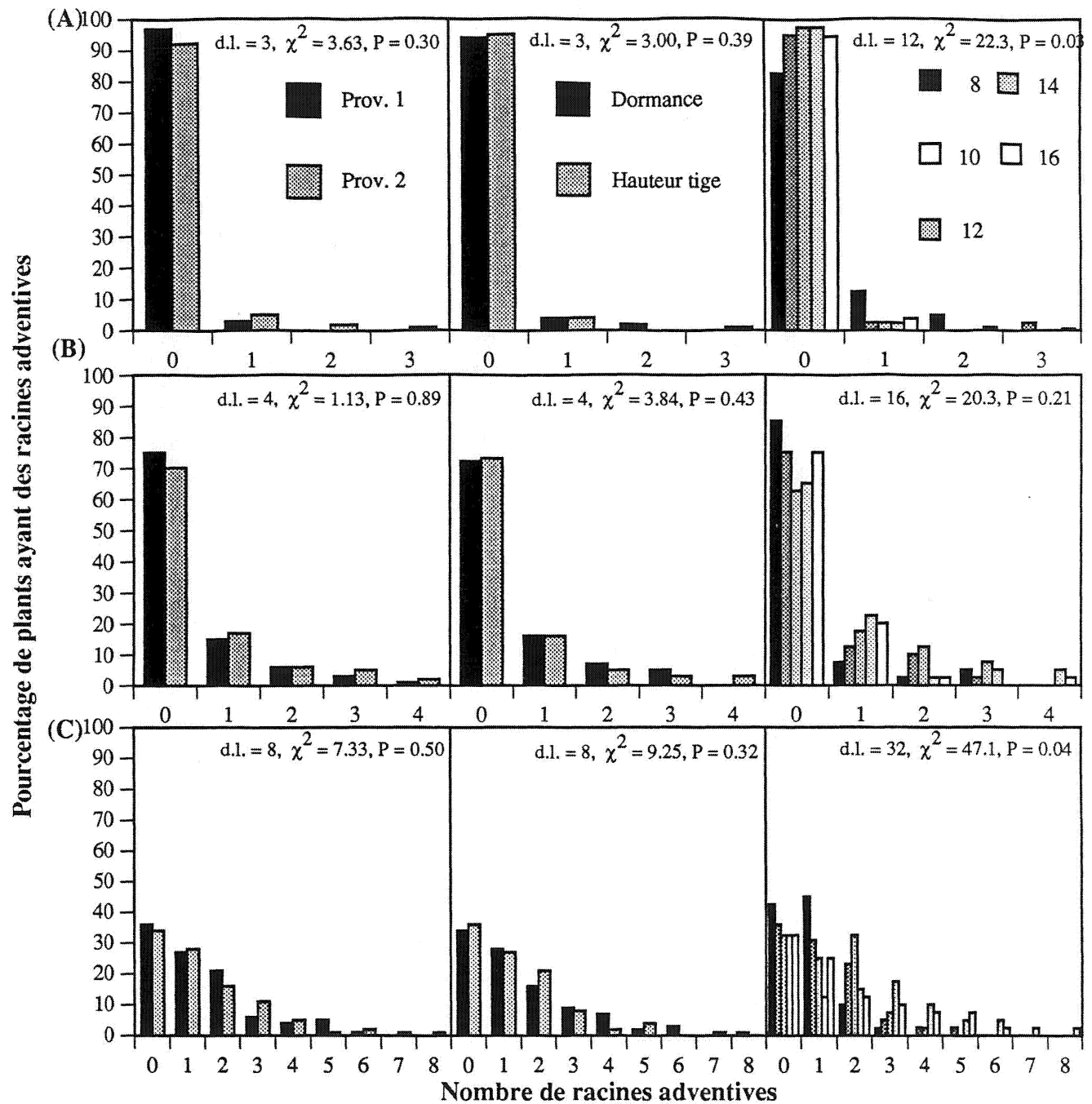


Figure 1: Pourcentage de plants produisant des racines adventives en fonction de la provenance (1, 2), du stade phénologique (croissance en hauteur de la tige ou dormance) et de la période d'enfouissement (8, 10, 12, 14, 16 semaines après le semis). Les plants ont été mesurés 24 semaines après le semis (A), à la fin de la première année de croissance (B) et après une deuxième année de croissance en serre (C).

Tableau 2. Analyse de variance de la hauteur et du diamètre des plants d'épinette noire en fonction de la provenance (P), du stade phénologique (S) et de la date (D) d'enfouissement. Les plants ont été mesurés 24 semaines après le semis (mesure 1), à la fin de la première année de croissance (mesure 2) et après une deuxième année de croissance en serre (mesure 3).

Source	Hauteur				Diamètre		
	d.l.	S.C.M	F	P	S.C.M	F	P
Mesure 1							
Prov (P)	1	3802	0.73	0.39	0.03	0.11	0.738
Stade (S)	1	111015	21.24	< 0.001	2.02	8.00	0.005
Date (D)	4	42008	8.04	< 0.001	2.33	9.21	< 0.001
P*S	1	10455	2.00	0.16	0.03	0.10	0.751
P*D	4	4917	0.94	0.44	0.76	3.01	0.020
S*D	4	24494	4.69	< 0.001	0.23	0.90	0.464
P*S*D	4	33230	6.36	< 0.001	1.15	4.56	0.002
P*S*D <sub>L</sub>	1	20150	3.86	0.05	< 0.01	< 0.01	0.990
P*S*D <sub>Q</sub>	1	4986	0.95	0.33	0.23	0.91	0.340
P*S*D <sub>C</sub>	1	4886	0.93	0.33	0.83	3.30	0.070
Erreur	180	5226			0.25		
Mesure 2							
Prov (P)	1	1568	0.18	0.67	0.15	0.39	0.535
Stade (S)	1	181	0.02	0.88	0.10	0.25	0.620
Date (D)	4	16842	1.98	0.10	3.82	9.87	< 0.001
P*S	1	221	0.03	0.87	0.01	0.02	0.900
P*D	4	15660	1.84	0.12	3.77	9.75	< 0.001
P*D <sub>L</sub>	1				1.49	3.85	0.050
P*D <sub>Q</sub>	1				10.96	28.33	< 0.001
P*D <sub>C</sub>	1				2.61	6.74	0.010
S*D	4	5281	0.62	0.65	0.36	0.93	0.446
P*S*D	4	6023	0.71	0.59	0.84	2.16	0.075
Erreur	180	8522			0.39		
Mesure 3							
Prov (P)	1	1207	0.19	0.66	3.30	2.88	0.091
Stade (S)	1	1915	0.31	0.58	1.51	1.32	0.252
Date (D)	4	7462	1.20	0.31	4.14	3.62	0.007
D <sub>L</sub>	1				6.93	6.06	0.015
D <sub>Q</sub>	1				7.00	6.12	0.014
D <sub>C</sub>	1				1.99	1.74	0.189
P*S	1	32	0.01	0.94	0.03	0.03	0.868
P*D	4	4785	0.77	0.55	0.09	0.08	0.990
S*D	4	3972	0.64	0.64	0.78	0.68	0.605
P*S*D	4	1467	0.24	0.92	1.72	1.50	0.204
Erreur	179	6240			1.14		
Hauteur (mm)      Diamètre (mm)							
	Mesure 1	Mesure 2	Mesure 3	Mesure 1	Mesure 2	Mesure 3	
Moyenne	275	350	419	2.76	3.73	6.54	
erreur-type	6	7	6	0.04	0.05	0.08	

Note : S.C.M., somme des carrés moyens; L, linéaire; Q, quadratique; C, cubique.

Tableau 3. Analyse de variance de la biomasse de la tige, des racines et des racines adventives des plants d'épinette noire en fonction de la provenance (P), du stade phénologique (S) et de la date (D) d'enfouissement. Les plants ont été mesurés 24 semaines après le semis (mesure 1), à la fin de la première année de croissance (mesure 2) et après une deuxième année de croissance en serre (mesure 3).

Source	Biomasse de la tige				Biomasse des racines primaires			Biomasse des racines adventives			
	d.l.	S.C.M	F	P	S.C.M	F	P	d.l.	S.C.M	F	P
Mesure 1											
Prov (P)	1	0.04	0.199	0.66	0.008	0.16	0.69				
Stade (S)	1	7.87	43.214	< 0.001	1.400	27.16	< 0.001				
Date (D)	4	3.70	20.342	< 0.001	0.513	9.94	< 0.001				
P*S	1	0.00	0.004	0.95	0.030	0.59	0.44				
P*D	4	0.41	2.237	0.07	0.219	4.25	< 0.001				
S*D	4	0.48	2.633	0.04	0.056	1.09	0.37				
P*S*D	4	1.97	10.815	< 0.001	0.310	6.02	< 0.001				
P*S*D <sub>L</sub>	1	0.84	4.600	0.03	0.200	0.38	0.54				
P*S*D <sub>Q</sub>	1	0.30	1.640	0.20	0.125	2.43	0.12				
P*S*D <sub>C</sub>	1	0.12	0.630	0.43	0.416	8.06	0.005				
Erreur	180	0.18			0.052						
Mesure 2											
Prov (P)	1	0.04	0.06	0.81	0.10	0.25	0.62	1	0.007	0.17	0.68
Stade (S)	1	0.83	1.08	0.30	0.08	0.20	0.66	1	0.007	0.16	0.69
Date (D)	4	7.54	9.84	< 0.001	10.08	25.71	< 0.001	4	0.060	1.45	0.23
P*S	1	0.01	0.01	0.91	0.12	0.30	0.59	1	0.002	0.05	0.83
P*D	4	6.10	7.97	< 0.001	2.07	5.28	< 0.001	4	0.012	0.30	0.88
P*D <sub>L</sub>	1	1.10	1.43	0.23	5.32	13.57	< 0.001				
P*D <sub>Q</sub>	1	16.46	21.50	< 0.001	2.88	7.35	0.007				
P*D <sub>C</sub>	1	6.71	8.76	0.004	0.08	0.19	0.66				
S*D	4	0.13	0.17	0.96	0.52	1.34	0.26				
P*S*D	4	0.27	0.36	0.84	0.40	1.03	0.39				
Erreur	180	0.77			0.39			43	0.041		
Mesure 3											
Prov (P)	1	2.59	0.42	0.52	0.51	0.18	0.67	1	0.08	0.441	0.51
Stade (S)	1	7.14	1.15	0.29	16.45	5.72	0.02	1	0.10	0.540	0.46
Date (D)	4	24.44	3.93	0.004	8.22	2.86	0.03	4	0.13	0.677	0.61
D <sub>L</sub>	1	47.15	7.59	0.007							
D <sub>Q</sub>	1	14.70	2.37	0.13							
D <sub>C</sub>	1	26.44	4.26	0.04							
P*S	1	0.41	0.07	0.80	0.25	0.09	0.77	1	0.63	3.418	0.07
P*D	4	3.57	0.58	0.68	2.23	0.77	0.54	4	0.22	1.199	0.32
S*D	4	3.02	0.49	0.75	0.52	0.18	0.95	4	0.10	0.546	0.70
P*S*D	4	4.71	0.76	0.55	4.19	1.46	0.22	4	0.06	0.326	0.86
Erreur	179	6.21			2.88			109	0.19		

Note : S.C.M., somme des carrés moyens; L, linéaire; Q, quadratique; C, cubique.



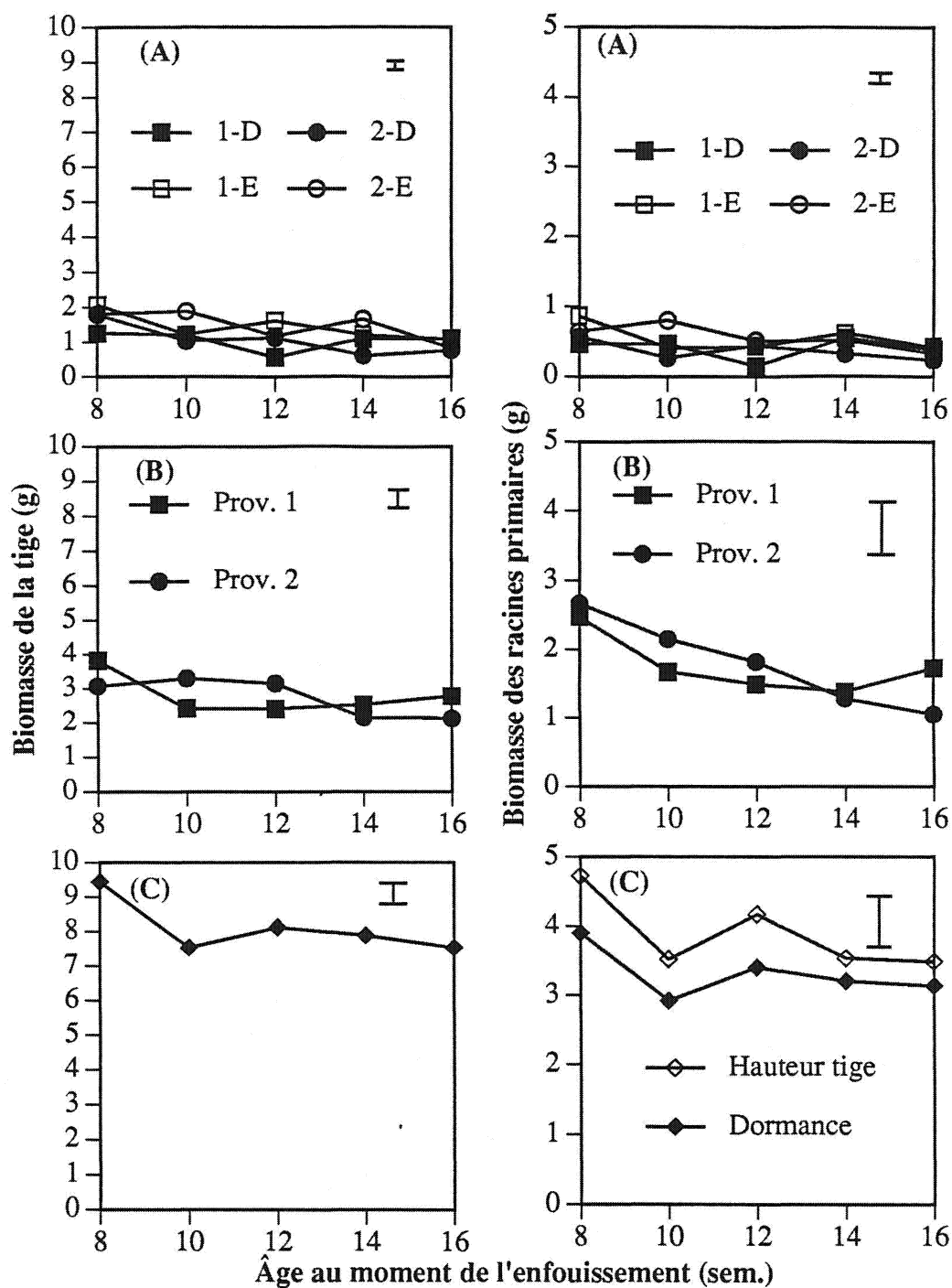


Figure 2: Moyennes des biomasses de la tige et des racines primaires en fonction de la provenance (1, 2), du stade phénologique (E croissance en hauteur de la tige, D dormance) et de la période d'enfouissement (8, 10, 12, 14, 16 semaines après le semis). Les plants ont été regroupés lorsqu'un des facteurs n'était pas significatif ( $P > 0.05$ ). Les plants ont été mesurés 24 semaines après le semis (A), à la fin de la première année de croissance (B) et après une deuxième année de croissance en serre (C). Les barres verticales indiquent l'erreur-type des moyennes.



## CONCLUSION

Notre hypothèse de départ a été vérifiée puisqu'il est possible d'induire la production de racines adventives sur des plants très jeunes. Le quart des plants avaient des racines adventives après seulement une année de croissance et cette proportion a atteint 65% après deux ans de production en serre. Les semis d'épinette noire étudiés par Simard (1995) avaient aussi pu exprimer très tôt après le semis leur potentiel de formation d'un système racinaire adventif, de telles racines pouvant apparaître chez des semis âgés d'à peine six semaines lors de leur enfouissement.

Les deux provenances étudiées ont réagi de la même façon et la photopériode n'a pas eu d'influence tant sur le nombre de plants qui ont produit des racines adventives que le nombre de racines par plant et leur biomasse. Seule la date d'enfouissement a eu un effet significatif. L'enfouissement de la tige après plus de 10 semaines de croissance a donné les meilleurs résultats même si le diamètre de la tige et la biomasse des plants ont été légèrement plus faibles.

## RAPPORT CONCERNANT L'OBJECTIF 2:

### MATÉRIEL ET MÉTHODES

Des semis d'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) BSP.) de quatre provenances ont été produits pour cette expérience (tableau 4). Les quatre lots provenaient du centre de traitement des semences de Berthier (latitude 46°55', longitude 70°44'). Les trois premiers lots de graine ont été semés et produits aux serres du Pavillon de la Recherche Forestière de l'UQAC (latitude 48°25', longitude 71°04'), alors que le quatrième lot a été produit à la pépinière Boucher de St-Ambroise (latitude 48°33', longitude 71°20').

Deux méthodes ont été utilisées pour produire les semis avant plantation. La première ne favorisait pas le développement avant plantation d'un système racinaire adventif, alors que la seconde permettait d'obtenir avant plantation des semis avec un tel système racinaire.

Les semis sans racines adventives lors de la plantation ont été obtenus en utilisant la méthode standard de production en récipients. Des récipients 45-110 ont été utilisés pour ceux produits aux serres de l'UQAC. Ceux de la pépinière ont été produits dans des récipients 67-50 jusqu'à leur réception à l'UQAC, un an après le semis, puis transférés dans des récipients 45-110.

L'obtention de semis avec racines adventives lors de la plantation fait appel à la méthode de pré-enfouissement de 5 cm de la tige des semis. Les semis produits aux serres de l'UQAC ont pu croître dans des récipients 45-110 jusqu'à leur 16e semaine avant recouvrement par de la tourbe des 5 premiers cm de la base de leur tige. Les semis produits dans la pépinière privée ont pu croître pendant un an dans des récipients 67-50 avant leur réception au Pavillon de la Recherche Forestière. Une fois sur place ils ont été transférés dans des récipients 45-110 avec enfouissement des 5 premiers cm de leur tige. Les plants de la pépinière privée ont été placés à l'extérieur des serres de l'Université jusqu'à la plantation après leur transfert dans des 45-110 alors que les plants de l'Université ont été placés à l'extérieur quatre semaines plus tard. Puisque la provenance biologique, le lieu de production et l'âge de certains semis sont différents, ce travail utilisera les termes population S1, S2, S3 pour qualifier les plants produits aux serres de l'Université et P pour les plants de la pépinière privée.

Les semis ont par la suite été mis en terre dans l'aire commune 26-20 dans le secteur de Chapais. Deux sites ont été identifiés: site 1: latitude 49°17'30'' N, longitude 75°13' O et site 2: latitude 49°19'30'' N, longitude 75°12' O. Les sites étaient scarifiés et ils avaient déjà été reboisés. Un dispositif expérimental factoriel aléatoire et incomplet avec 3360 semis a été utilisés pour effectuer la plantation (tableau 5).

Tableau 4: Caractéristiques des quatre lots de graines fournies par le centre de traitement des semences de Berthier

PROVENANCE	NBRE DE SEMENCE / KG *1000	ZONE	LATITU- DE	LONGI- TUDE	DATE DE RÉCOLTE
(S1) EPN-VI-025-K13-026-94	848	verger	49°50'	74°50'	1994
(S2) EPN-AI-12B-K91-025-90	954	boréale	49°40'	72°50'	1990
(S3) EPN-NI-12B-K91-025-84	1082	boréale	49°40'	72°50'	1984
(P) EPN-NI-11A-Y32-024-88	886	boréale	49°54'	71°15'	1988

Tableau 5: Résumé du dispositif expérimental

DATES DE PLANTATION												
POPULATIONS ->	JUIN-JUILLET				AOÛT				SEPTEMBRE			
	S1	S2	S3	P	S1	S2	S3	P	S1	S2	S3	P
	8 combinaisons / population				8 combinaisons / population				8 combinaisons / population			
COMBINAISONS												
TYPES DE SOLS	AU COLLET				MÉTHODES DE PLANTATION ENFOUÏE 5 CM				PRÉ-ENFOUÏE			
O-O	420				420				420			
M-M	420				420				420			
O-M	—				420				420			
m = sol minéral                      o = sol organique												

Les semis produits normalement ont été plantés de cinq façons: a) enfouissement jusqu'au collet dans sol minéral, b) enfouissement jusqu'au collet dans un sol contenant une forte proportion de matière organique décomposée, c) enfouissement des 5 premiers cm de tige dans la matière organique non-décomposée, puis le reste de la carotte dans sol minéral, d) enfouissement des 5 premiers cm de tige dans la matière organique non-décomposée, puis le reste de la carotte dans un sol contenant une forte proportion de matière organique décomposée, e) enfouissement des 5 premiers cm de tige dans le sol minéral, puis le reste de la carotte dans sol minéral.

Les semis avec tige pré-enfouie ont été plantés selon les trois façons suivantes: a) enfouissement jusqu'au sommet de la carotte de tourbe dans sol minéral, b) enfouissement jusqu'au sommet de la carotte de tourbe dans un sol contenant une forte proportion de matière organique décomposée, c) enfouissement jusqu'au sommet de la carotte de tourbe dans de la matière organique non-décomposée (le bas de la carotte se retrouvera entre 5 et 10 cm du sol minéral).

Huit méthodes de production-plantation ont donc été étudiées (tableau 5). Le type de sol minéral sur organique n'a pas été utilisé puisqu'il n'existe pas en nature. La combinaison méthode de plantation au collet et type de sol organique sur minéral n'a pas été utilisée puisqu'elle n'amène aucune condition nouvelle pour des semis non-enfouies comparativement aux autres combinaisons.

Les plantations sont réalisées avec suffisamment de plants pour récolter en octobre 1996, en juillet 1997, en octobre 1997, 1998, 1999, 2001 et 2006. Ce travail rapporte le résultats de la première récolte d'octobre 1996. Il nous faut spécifier dès maintenant que la récolte juillet 1997 prévue au protocole initial sera reporté à l'an 2 000, année où aucune récolte n'avait été prévue. En effet, l'absence de période de croissance importante entre octobre 1996 et juillet 1997 n'aurait pas permis aux semis de se différencier suffisamment. Cependant, les taux de survie seront quand même mesurés en juillet 1997.

La première plantation a été effectuée sur une période s'étendant du 17 juin au 9 juillet 1996. La seconde s'est faite du 6 au 14 août et la troisième du 3 au 10 septembre. Il est à noter que la fonte des neiges tardives du printemps 1996, les conditions très sèches prévalant en début de saison de plantation et l'arrêt des travaux en forêt décrété par le MRN à cette époque nous ont obligé à modifier quelque peu nos dates de plantation comparativement au plan initial.

Le dispositif sur le terrain peut se résumer ainsi (figure 3):

5 Blocs X 7 Temps X 3 Dates-Pl. X 4 Provenances x 8 Méthodes production-plantation = 3360 plants

Dans chaque bloc il y a 7 parcelles qui correspondent à un temps; tous les plants d'une parcelle temps sont ou seront mesurés au même âge. Il y aura donc des mesures à 7 âges différents.

Chaque parcelle est divisée en 6 rangées où sont plantés 16 plants pour un total de 96 positions par parcelle. Ces 96 positions correspondent aux 96 combinaisons possibles Date X Provenance X Méthode (3 X 4 X 8). Chacune des 96 combinaisons de traitement a été affectée aléatoirement à une des 96 positions dans la parcelle.

Le terrain a été divisé en cinq blocs. Les blocs 1, 2 et 3 étaient situés dans un site mésique où la couche de matière organique est épaisse et bien décomposée, alors que les blocs 4 et 5 étaient situés dans un site xérique où la couche de matière organique est mince et peu décomposée. Chacun de ces blocs ont à leur tour été divisés en sept parcelles, chacune de ces parcelles correspondant à un temps de récolte différent (figure 3). Il devrait donc y avoir sept récoltes, la première étant celle qui concerne ce travail. Dans chaque parcelle, il y avait 96 positions; celles-ci ont été distribuées aléatoirement parmi les 96 combinaisons de traitement possibles. Elles correspondent à trois dates de plantation (17 juin au 10 juillet, 6 au 14 août et 3 au 10 septembre), à quatre populations (S1, S2, S3 et P) et à huit combinaisons méthodes de plantation et types de sol. Les méthodes de plantation sont: le collet du semis au niveau du sol, la tige enfouie de 5 cm à la plantation et la tige pré-enfouie de 5 cm lors de la production. Les types de sol sont: organique, minéral et organique (5 premier centimètres) sur minéral sauf pour la méthode au collet (tableau 5).

La récolte des semis de la parcelle récolte 1, soit 480 plants, s'est déroulée du 15 au 17 octobre 1996. Les semis ont été déterrés puis placés dans des sacs de plastique pré-identifiés et amenés au laboratoire. Lors de ce même séjour, le taux de survie de l'ensemble de la plantation a été effectué en répertoriant un à un chacun des 3 360 semis et en notant s'il était mort ou vivant.

Au laboratoire, les semis ont été conservés en chambre froide en attendant qu'ils soient mesurés. Une fois les racines nettoyées, les semis ont été mesurés (longueur de la tige et diamètre au collet) et pesés (biomasse sèche de la tige et des racines). Une attention particulière a été portée aux racines adventives caulinaires qui ont été recherchées puis mesurées et pesées séparément.

Finalement les données obtenues ont été traitées par un logiciel de base de donnée et un analyse statistique a été effectué à l'aide du logiciel SAS system. Le résultat de probabilité retenu comme étant le seuil significatif a été de 5% pour l'ensemble de ce travail. La procédure GLM a été utilisée pour l'analyse de variance et le test de Duncan pour les comparaisons de moyenne.



## RÉSULTATS ET DISCUSSION

Seulement 33 semis sont morts sur les 3360 mis en terre durant l'année. Le taux de survie pour cette première année de plantation est donc supérieur à 99%. Les semis produits semblaient aptes à survivre en première année de plantation et ce peu importe la population, la date de plantation, la méthode de plantation et le type de sol. Ce résultat sera validé par une nouvelle mesure du taux de survie en juillet 1997.

Le tableau d'analyse de variance sur les taux de survie montre qu'il existe tout de même des différences significatives de mortalité selon les différentes dates de plantation ( $p = 0.0001$ , tableau 6). Une interaction significative date-population ( $p = 0.011$ ) est aussi présente. La différence observée pour la date de plantation peut s'expliquer par une importante période de sécheresse survenue lors de la plantation de juin-juillet (tableau 7). En effet, pratiquement aucune précipitation n'a été observée dans le secteur de plantation lors de la première date de plantation en juin, ce qui a même forcé le gouvernement à émettre une interdiction de circulation en forêt dans notre secteur étant donné l'indice extrême d'inflammabilité présent à ce moment et les risques d'incendie qui en découlent. L'interaction entre la date de plantation et la population montre que les plants de la population P, soit ceux de la pépinière Boucher, sont morts uniquement lors de la plantation de juin-juillet (tableau 7). Cette observation pourrait s'expliquer par le fait que, lors de leur réception aux serres de l'Université, ces semis semblaient plus faibles, avec peut-être même une carence minérale. De plus, ces semis étaient plus âgés et plus grands; ils auraient donc pu souffrir de façon plus marquée d'un manque d'eau. Lors de la plantation de semis de conifères pour le reboisement, le stress hydrique est d'ailleurs la première cause de mortalité ou de baisse de croissance (Orlander, 1990).

Tableau 6: Analyse de variance de la mortalité des semis d'épinette noire pour trois dates de plantation, quatre populations, trois méthodes de plantation et trois types de sol

Source de variation	<i>dl</i>	<i>p</i>
Date	2	0.0001*
Population	3	0.7347
Méthode	2	0.2473
Sol	2	0.3003
Date*Population.	6	0.0110*
Date*Méthode	4	0.1809
Population*Méthode	6	0.3275
Date*Population*Méthode	12	0.3206
Date*Sol	4	0.2785
Population*Sol	6	0.5865
Date*Population*Sol	12	0.4702
Méthode*Sol	3	0.6696
Date*Méthode*Sol	6	0.7005
Population*Méthode*Sol	9	0.5107
Date*Population*Méthode*Sol	18	0.3086

\*=significatif

Tableau 7: Mortalité des semis d'épinette noire en nombres absolus pour les trois dates de plantation et les quatre populations (n=3360)

Populations	Dates de plantation		
	Juin-Juillet	Août	Septembre
S1	4	1	2
S2	4	3	0
S3	3	2	2
P	12	0	0
Total	23	6	4

Un total de 45 racines adventives caulinaires se sont développées sur 26 semis différents parmi les 480 récoltés lors du premier échantillonnage. Selon le dispositif expérimental, seul 360 semis sur les 480 avaient été mis sous conditions de plantation susceptibles de donner un tel développement, les semis dont le collet était au niveau du sol n'étant pas plantés pour que leur potentiel d'expression puisse se réaliser. En effet, l'enfouissement d'une partie de la tige est une condition essentielle au développement de racines adventives (Aubin, 1996). C'est donc 7,22% des semis qui ont exprimé leur potentiel de développement de racines adventives caulinaires durant l'année de plantation. L'analyse de variance pour les semis ayant développé des racines adventives montre un effet significatif des différentes populations et méthodes de plantation ( $p = 0.0001$ , tableau 8). Des interactions populations-méthodes de plantation et dates-méthodes de plantation sont aussi présentes.

Les semis des populations S1, S2 et S3 ont développé un moins grand nombre de racines adventives que les semis de la population P (figure 4). Ce nombre supérieur de semis avec racines adventives pourrait être attribuable au fait que les semis de la population P produite à la pépinière Boucher étaient plus âgées et de plus grande taille que ceux produits aux serres de l'UQAC. Les résultats obtenus dans d'autres expériences laissent croire eux aussi que le potentiel d'expression du système racinaire adventif augmente avec l'âge et/ou la dimension. Cette hypothèse devrait être vérifiée de façon plus rigoureuse dans les prochaines années.

Tableau 8: Analyse de variance du nombre de semis d'épinette noire ayant développé des racines adventives pour trois dates de plantation, quatre populations, trois méthodes de plantation et trois types de sol

Source de variation	dl	p
Date	2	0.0984
Population	3	0.0001*
Méthode	2	0.0001*
Sol	2	0.4945
Date*Population.	6	0.4698
Date*Méthode	4	0.0045*
Population* Méthode	6	0.0001*
Date*Population* Méthode	12	0.1775
Date*Sol	4	0.3426
Population*Sol	6	0.3423
Date*Population*Sol	12	0.5551
Méthode *Sol	3	0.7306
Date* Méthode *Sol	6	0.6520
Population* Méthode *Sol	9	0.6256
Date*Population* Méthode *Sol	18	0.9099

\*=significatif



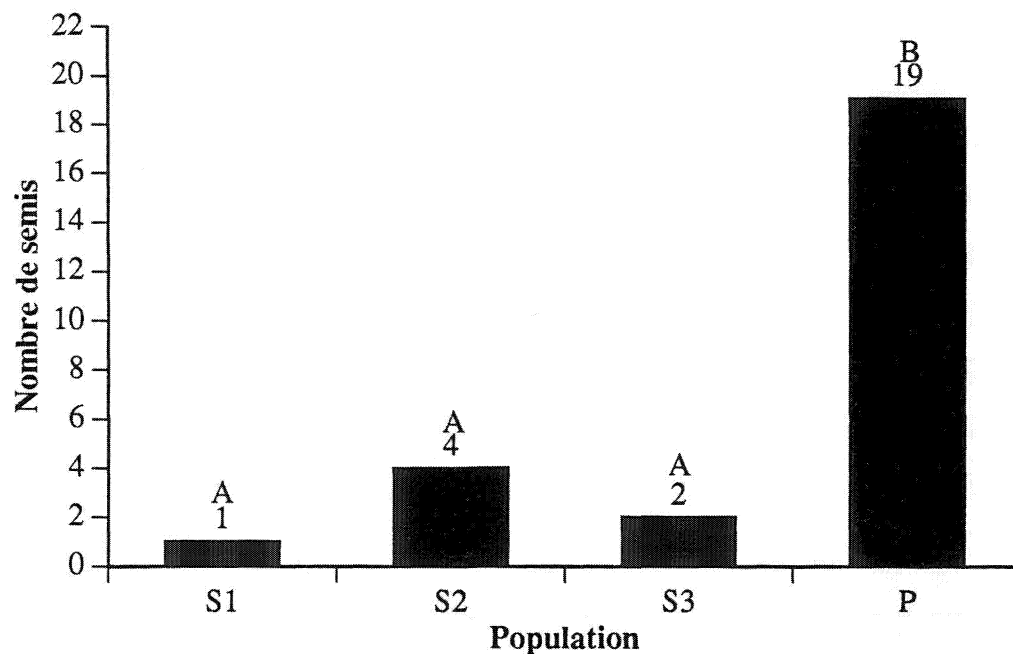


Figure 4: Effet de la population sur le nombre de semis d'épinette noire ayant développé des racines adventives (n=480). Les populations qui ne partagent pas la même lettre sont significativement différentes les unes des autres.

La méthode de plantation montre un effet significatif sur le développement des racines adventives. Les semis dont le collet était au niveau du sol n'ont développé aucune racine adventive (figure 5). Ce résultat est conforme à ce qui était attendu (Aubin, 1996).

Les semis pré-enfouies sont ceux qui ont développé significativement le plus de racines adventives, soit 24, alors que les semis enfouies de 5 cm à la plantation en ont développé seulement deux. L'importante différence entre les deux méthodes de plantation peut s'expliquer par la période de temps supérieure qu'ont eue les semis pré-enfouies pour développer des racines sur la tige sous conditions d'enfouissement favorables. Il est clair cependant que les semis enfouies de 5 cm à la plantation ont été placés en condition où le potentiel de développement du système racinaire adventif caulinaire pouvait s'exprimer.

La date de plantation ne montre pas d'effet significatif sur le développement des racines adventives ( $p = 0.0984$ , tableau 5). La majorité des plants ayant développé des racines adventives étaient des semis pré-enfouies (figure 5) et ceux-ci n'étaient pas affectés par la date de plantation puisqu'ils ont tous été enfouies en même temps lors de leur production. Ceci pourrait expliquer qu'il n'y ai pas eu un effet significatif de la date de plantation (figure 6).

L'analyse de variance du nombre de semis ayant développé des racines adventives pour le facteur type de sol n'indique aucune différence significative ( $p = 0.4945$ , tableau 8). Aucun effet ne peut donc être attribué au type de sol pour le développement des racines adventives durant l'année de plantation.

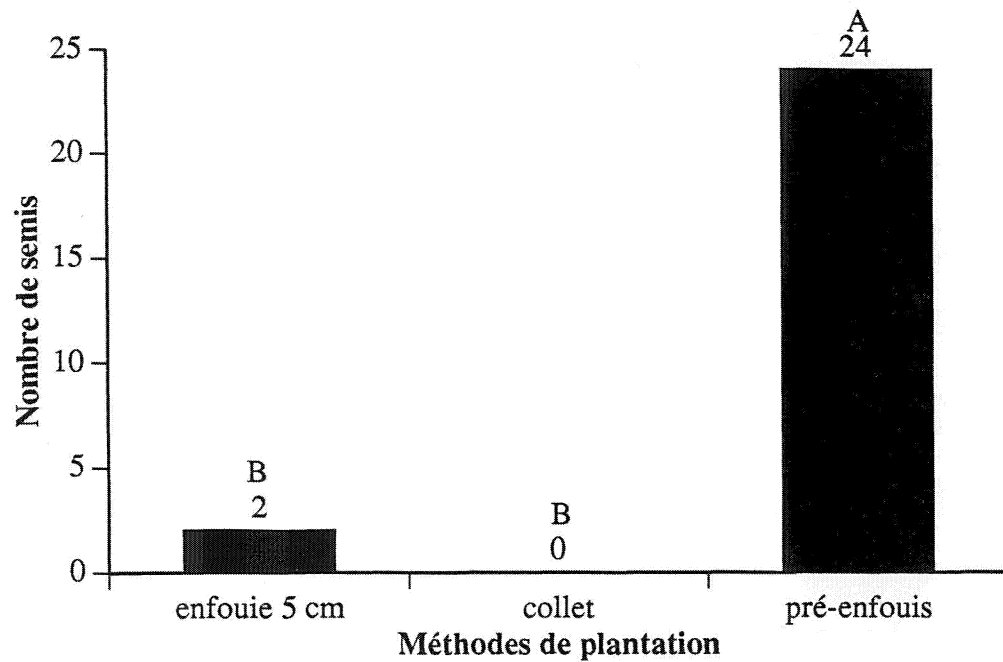


Figure 5: Effet de la méthode de plantation sur le nombre de semis d'épinette noire ayant développé des racines adventives (n=480). Les méthodes qui ne partagent pas la même lettre sont significativement différentes les unes des autres.

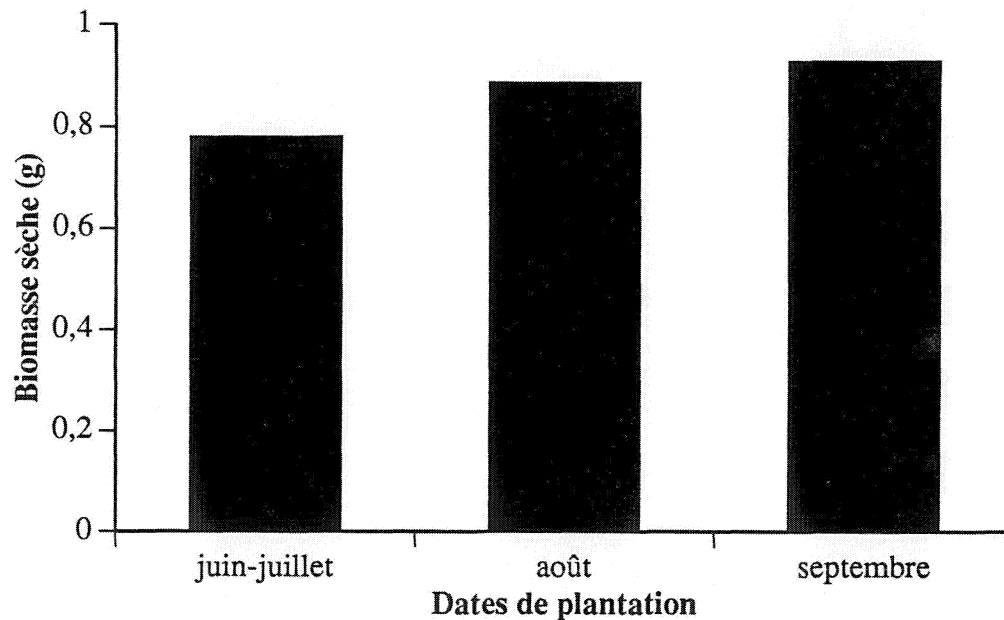


Figure 6: Effet de la date de plantation sur le nombre de semis d'épinette noire ayant développé des racines adventives (n=480).

L'analyse de variance portant sur les résultats de biomasse sèche de la tige et de biomasse sèche des racines montre des différences significatives similaires pour les facteurs population et méthode de plantation ainsi que des interactions dates-populations et populations-méthodes de plantation (tableau 9). Ces paramètres sont intéressants pour vérifier si la croissance des semis a été affectée par les différents facteurs sous étude. Le facteur population a affecté la croissance des plants, mais ce résultat est essentiellement dû au fait que les semis de la population P était déjà de taille supérieure aux autres semis lors de la plantation.

La figure 7 montre la biomasse sèche de la tige et des racines principales en fonction des différentes méthodes de plantation. L'analyse de variance indique une différence significative entre celle-ci pour la tige et pour les racines ( $p = 0.0001$ , tableau 9). Considérant la méthode de plantation du collet au niveau du sol comme étant standard, la méthode enfouie de 5 cm à la plantation ne montre pas de différence significative de croissance tant pour la tige que pour les racines (figure 7). Cette technique d'enfouissement pourrait donc permettre d'obtenir des racines adventives caulinaires durant l'année de plantation sans affecter la croissance des semis. La méthode pré-enfouie amène des conditions permettant de développer plus de racines adventives. Par contre, ces conditions affectent négativement la croissance des semis durant l'année de plantation. Ceci pourrait s'expliquer par la perte d'une importante partie de surface foliaire des semis avec l'enfouissement survenant tôt lors de la production. Cette perte résulte en une baisse de photosynthèse et par conséquent en une croissance réduite.

La date de plantation montre un effet significatif pour la biomasse sèche des racines principales ( $p = 0.0001$ , tableau 9). La figure 8 montre que la biomasse sèche du système racinaire principal est inférieure à la plantation de juin-juillet. Les semis gardés plus longtemps en récipient auraient donc eu une meilleure croissance racinaire que celle des semis plantés en juin-juillet. Ceux-ci ont possiblement été affectés par la période de sécheresse alors que les semis qui ont été plantés plus tard étaient gardés dans des conditions favorables sur les aires de croissance de l'UQAC.

Tableau 9: Analyse de variance de la biomasse sèche de la tige et des racines principales pour des semis d'épinette noire selon trois dates de plantation, quatre populations, trois méthodes de plantation et trois types de sol

Source de variation	dl	p (tiges)	p (racines)
Date	2	0.1840	0.0001*
Population	3	0.0001*	0.0082*
Méthodes	2	0.0001*	0.0001*
Sol	2	0.2687	0.0638
Date*Population	6	0.0006*	0.0129*
Date* Méthodes	4	0.7623	0.8282
Population* Méthodes	6	0.0001*	0.0182*
Date*Population* Méthodes	12	0.4792	0.4515
Date*Sol	4	0.9062	0.7256
Population*Sol	6	0.1823	0.6807
Date*Population*Sol	12	0.8882	0.6546
Méthodes *Sol	3	0.4077	0.2917
Date* Méthodes *Sol	6	0.8109	0.0782
Population* Méthodes *Sol	9	0.7762	0.6788
Date*Population* Méthodes *Sol	18	0.3028	0.2621

\*= significatif

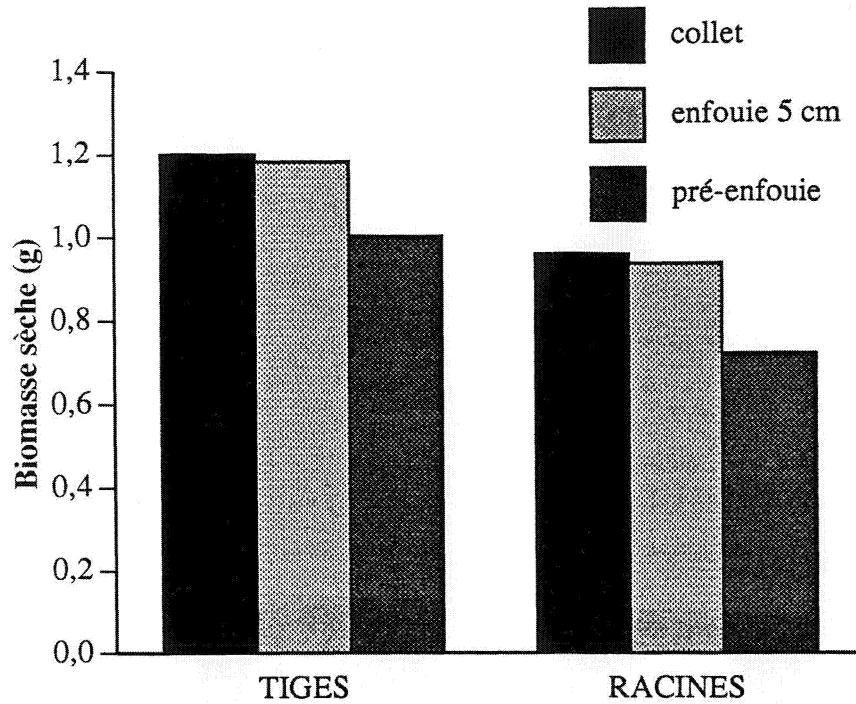


Figure 7: Effet de la méthode de plantation sur les biomasses sèches de la tige et des racines de semis d'épinette noire en première année de plantation (n=480). Les méthodes qui ne partagent pas la même lettre sont significativement différentes les unes des autres.

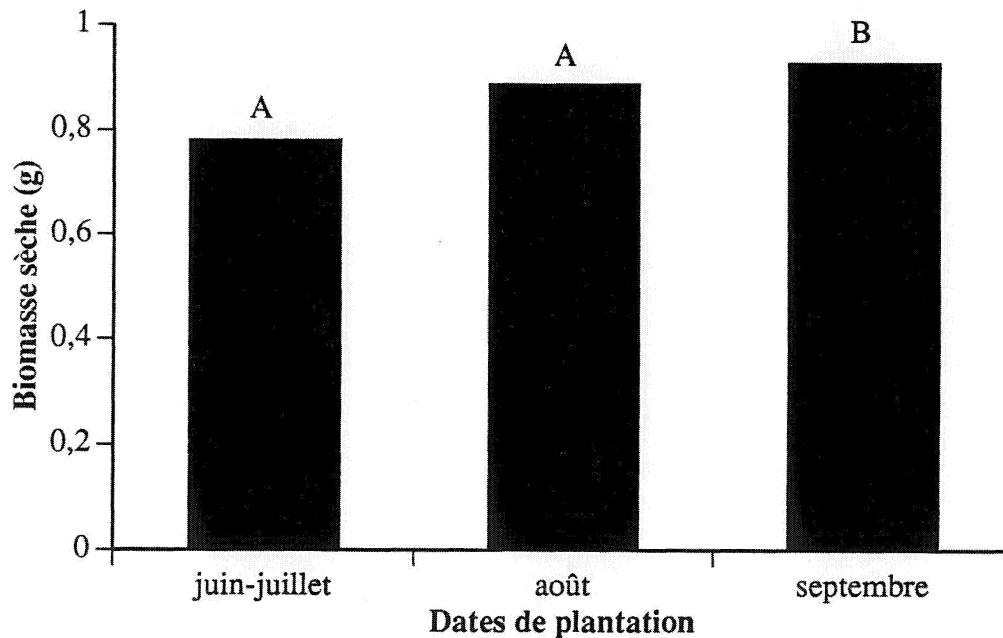


Figure 8: Effet de la date de plantation sur la biomasse sèche des racines principales de semis d'épinette noire en première année de plantation (n=480). Les dates qui ne partagent pas la même lettre sont significativement différentes les unes des autres.

## CONCLUSIONS

Les objectifs de cette partie du travail étaient d'évaluer le potentiel de développement du système racinaire adventif caulinaire durant l'année de plantation chez l'épinette noire et de déterminer le taux de survie de la plantation d'après différents facteurs (populations de semis, dates de plantation, méthodes de plantation et types de sol).

Un taux de survie de plus de 99 % a été obtenu pour cette plantation en milieu naturel. Un effet de date a été observé avec une mortalité supérieure à la plantation de juin-juillet, particulièrement pour la population P. Des conditions de forte sécheresse pourraient expliquer ce résultat.

Des racines adventives ont été observées sur 26 semis lors de la première année de plantation. Un effet de population et de méthode de plantation a été observé. L'âge supérieur des plants aurait pu favoriser les semis de la pépinière privée pour le développement des racines adventives. L'enfouissement de la tige de 5 cm à la plantation est une technique qui permet d'observer des racines adventives caulinaire durant l'année de plantation. Le pré-enfouissement des plants est une technique qui permet d'observer plus de semis avec des racines adventives durant l'année de plantation. Par contre, les croissances de la tige et des racines principales des semis sont négativement affectées, probablement suite à une perte de surface photosynthétique. Aucun effet de type de sol n'a été observé, tant pour la mortalité que pour le développement des racines adventives et la croissance des semis. Les microsites de plantation lors de l'opération reboisement ne sont donc pas essentiels en première année pour assurer la survie et la croissance des plants.

Ces résultats étant la première étape d'un long processus, les échantillonnages à venir pourront ou non confirmer les tendances émises dans cette étude. Il sera particulièrement intéressant de vérifier si les semis pré-enfouies peuvent reprendre leur retard de croissance et si un effet relié au type de sol apparaît plus tard.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aubin, K. N. 1996. Influence du contenu en eau du substrat et de la profondeur de plantation sur la formation de racines adventives caulinaires, la croissance et l'allocation glucidique de semis d'épinette noire. Mémoire de maîtrise. UQAC. 105 p.
- Filion, J. 1994. Distribution spatiale de la régénération d'épinette noire deux ans après un feu de forêt. Mémoire de maîtrise. UQAC. 72 p.
- Lord, D. 1996. Notes de cours de physiologie végétale. Département des sciences fondamentales, Module de biologie. UQAC.
- McLain, K. M. 1981. Growth, nutrition and root development of ontario tubeling, plugs and 3+0 bare-root black spruce. Proceeding of the Canadian Containerized Tree Seedling Symposium, septembre 1981. SCF, MNR. Toronto. 331-342.
- Orlander, G. Et Due, K. 1986. Location of hydraulic resistance in the soil; 1-plant pathway in seedling of *Pinus sylvestrus* L. Grown in peat. Can. J. For. Res. **16**: 115-123.
- Parent, B. 1994. Ressource et Industrie Forestière, Portrait Statistique. MRN, édition 1994, 155 p.
- SAS Institute Inc. 1988. SAS/STAT™ User's Guide Release 6.03 Edition. Cary, NC: SAS Institute Inc., 1028 pp.
- Simard, Luc. 1995. Développement des racines adventives sur la tige des semis d'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.) âgés de 6 à 14 semaines. Rapport d'initiation à la recherche, Département des sciences fondamentales, Module de biologie. UQAC.
- Strong, W. L. et LaRoi, G. H. 1983. Root-system morphology of common boreal forest trees in Alberta, Canada. Can. J. Res. **17**: 794-804
- Sutton, R. F. and Tinus, R. W. 1983. Root System Terminology. Forest Science Monograph **24**. 137 p.
- SYSTAT. 1992. Statistics Version 5.2 Edition, Evanston, Il.: Systat, Inc.
- Thibault, M. 1987. Les régions écologiques du Québec méridional. Deuxième approximation. Carte, Service de la recherche, ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec.
- Villeneuve, C. 1997. Influence de la présence de racines adventives et du contenu en eau du substrat sur l'échange gazeux, la croissance et l'allocation glucidique chez les semis d'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.). Mémoire de maîtrise. UQAC. sous presse.